



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VÝVOJ APLIKACÍ PRO MCU/ARM

MCU/ARM APPLICATION DEVELOPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Pavlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Radim Pavlík

ID: 159624

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Vývoj aplikací pro MCU/ARM

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi vývoje aplikací pro mikrokontroléry. Pro potřebu počítačové výuky předmětu Mikroprocesorová technika a embedded systémy společně s vedoucím navrhnete soubor aplikací v jazyce C, vhodných pro bakalářské studenty. Navrhnete způsob zpřístupnění aplikací, vč. dokumentace studentům. Výsledkem bude soubor ukázkových/řešených příkladů různé obtížnosti (např. obsluha periférií, řízení komunikace, zobrazování dat, ...). Konkrétní typ programovatelného obvodu si zvolte. Vytvořte výrobní dokumentaci k případným přídatným obvodům/perifériím.

Vyrobte přídatné moduly a oživte je. Naprogramujte a detailně otestujte zvolené aplikace. Vytvořte kompletní dokumentaci k vytvořeným kódům (včetně video tutoriálů) a zpřístupněte je studentům.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SLOSS, A.N, SYMES, D., WRIGHT, Ch. ARM system developer's guide: designing and optimizing system software. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, 689 s. ISBN 15-586-0874-5.

[2] SMITH, W.A. C programming for embedded microcontrollers. 2nd ed. Susteren: Elektor International Media BV, 2008. ISBN 09-057-0580-7.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se soustředí na možnosti a samotný vývoj aplikací pro mikrokontroléry struktury ARM v jednotném prostředí Mbed. Součástí práce je soubor ukázkových programů kteréžto mají sloužit studentům k seznámení se s touto problematikou.

KLÍČOVÁ SLOVA

ARM, Mikrokontrolér, Programování, KL25Z, Mbed, Příklady, Cvičení, Multimediální lekce

ABSTRACT

This bachelor thesis focus on options of development and development itself of applications for ARM microcontrolers in united enviroment Mbed and it contains a set of solved samples programs, which should serve as familirization with this subject.

KEYWORDS

ARM, Microcontroller, Programming, KL25Z, Mbed, Examples, Exercises, Multimedia lesson's

PAVLÍK, R. Vývoj aplikací pro MCU/ARM Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 25 s., 9 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vývoj aplikací pro MCU/ARM jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Úvod	1
1 ARM HARDWARE	2
1.1 Historie ARM	2
1.2 Zařízení struktury ARM.....	2
1.3 Embedded procesory ARM	3
1.4 Mikrokontroléry	4
1.4.1 KL25Z.....	4
2 Přídavné periferie	6
2.1 Si570 Generator Shield	6
2.1.1 Si570	6
2.1.2 FIN1002	7
2.2 LEDCUBE Shield	8
3 Vývojové nástroje a prostředí	10
3.1 Integrated Development Environment (IDE)	10
3.1.1 Kinetis Design Studio (KDS IDE).....	10
3.1.2 CooCox (Co IDE)	10
3.1.3 ARM mbed Developer Site.....	10
3.1.4 IAR Embedded Workbench.....	11
4 Vývoj Aplikací	12
4.1 Aplikace vykreslování dat z akcelerometru v Matlabu	12
4.1.1 Akcelerometr MMA8451Q.....	12
4.1.2 Kód Mbed:	12
4.1.3 Kód Matlab:	14
4.2 ARM mbed a základní konfigurace	15
4.2.1 Ukázkový program:	15
4.3 Aplikace pro měření vzdálenosti ultrazvukovým senzorem.....	16
4.3.1 Ultrazvukový senzor HC-SR04	16
4.3.2 Kód Mbed:	17

4.4	Znakový LCD display.....	18
4.4.1	LCD Keypad Shield.....	18
4.4.2	Začlenění znakového LCD do projektů/aplikací	18
4.5	Aplikace vzduchová myš ovládaná akcelerometrem.....	19
4.5.1	Vývojový diagram funkce programu:.....	19
4.6	Aplikace řízení LEDCUBE Shield	20
4.6.1	Realizace LEDCUBE Shield	20
4.7	Aplikace pro SI570 Shield.....	21
4.7.1	Kód Mbed:	21
	22	
4.7.2	Realizace modulu.....	23
5	Závěr	25
	Literatura	26
	Seznam symbolů, veličin a zkratek	27
A	Návrh SI570 GENERATOR SHIELD	28
A.1	Obvodové zapojení – Hlavní	28
A.2	Obvodové zapojení – Si570 Modul BL1	29
A.3	Si570 SHIELD DPS [top].....	30
A.4	Si570 SHIELD DPS [bottom].....	31
A.5	Si570 SHIELD osazovací list [top]	32
	Seznam součástek Si570 GENERATOR SHIELD.....	33
B	Návrh LEDCUBE Shield	34
B.1	Obvodové zapojení	34
B.2	LEDCUBE DPS [top].....	35
B.3	LEDCUBE DPS [bottom].....	35
B.4	LEDCUBE Osazovací list [top].....	36
B.5	LEDCUBE Osazovací list [bottom]	36
B.6	Seznam součástek LEDCUBE SHIELD.....	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 <i>Zařízení založené na architektuře ARM [2]</i>	3
Obrázek 2 <i>Zařízení ARM s jádrem Cortex M0+ [10]</i>	3
Obrázek 3 <i>Srovnání rodiny Cortex M [2]</i>	4
Obrázek 4 <i>Pinout KL25Z [3]</i>	5
Obrázek 5 <i>Přídavné periferie KL25Z [3]</i>	5
Obrázek 6. <i>Blokové schéma Si570 GS</i>	6
Obrázek 7. <i>Blokový diagram vnitřního zapojení Si570[7]</i>	7
Obrázek 8. <i>Vývody pouzdra Si570[7]</i>	7
Obrázek 9. <i>Převod logiky LVDS na LVTTTL obvodem FIN1002[9]</i>	8
Obrázek 10. <i>Vývody pouzdra FIN1002[9]</i>	8
Obrázek 11. <i>Blokové schéma LEDCUBE Shield</i>	9
Obrázek 12 <i>Osy a pouzdro akcelerometru MMA8451Q [8]</i>	12
Obrázek 13 <i>Nastavení sériové komunikace v prostředí PuTTY</i>	13
Obrázek 14 <i>Monitorování komunikační linky</i>	13
Obrázek 15 <i>Vykreslování dat z akcelerometru v prostředí Matlab</i>	14
Obrázek 16 <i>Modul HC-SR04 a jeho výstupy [14]</i>	16
Obrázek 17 <i>Časový diagram průběhů ultrazvukového modulu [15]</i>	17
Obrázek 18 <i>Displej 1602 zobrazující změřenou vzdálenost objektu</i>	18
Obrázek 19 <i>Vývojový diagram programu vzduchová myš</i>	19
Obrázek 20 <i>LEDCUBE shield</i>	20
Obrázek 21 <i>LEDCUBE shield strana spoje</i>	21
Obrázek 22 <i>Změřený sinusový signál za Si570</i>	22
Obrázek 23 <i>Změřený obdélníkový signál za FIN1002</i>	22
Obrázek 24 <i>Modul generátoru s Si570 (vlevo: Si570 shield, vpravo: hlavní deska)</i>	23
Obrázek 25 <i>Detail Si570 shield</i>	23
Obrázek 26 <i>Modul BL1 zasunutý v hlavní desce Si570 shield</i>	24

ÚVOD

V práci je popsán úvod do problematiky zařízení ARM, tvorba vlastních přídavných periférií a poté se práce zaměřuje na programování ukázkových aplikací a práci se zvoleným rozsahem interních a externích periférií, jenž jsou použitelné danými mikrokontroléry KL25Z produkovanými firmou Freescale obsahující procesory typu Cortex-M konkrétně M0+. Nicméně naprostou většinu aplikací bude možné realizovat i s odlišným hardwarem díky prostředí Mbed a jeho knihovnám. Práce se nezabývá hloubkovým rozbořením funkce procesorů ARM, ale slouží výhradně jako vstupní brána do světa programování a zobecňuje pohled na celou problematiku. S ohledem na moderní výukové metody a také pro větší názornost jsou jednotlivá cvičení dostupná v multimediální podobě se snadným přístupem ke zdrojovému kódu.

1 ARM HARDWARE

V této kapitole naleznete obecné seznámení s termínem ARM a stručné seznámení s námi zvoleným mikrokontrolérem KL25Z.

1.1 Historie ARM

Firma ARM, která stojí za vývojem stejnojmenných procesorů byla založena roku 1990 malým týmem původem z již neexistující firmy Acorn Computers v UK z Cambridge. Tento tým za 18 měsíců navrhl a implementoval první procesor struktury ARM, který byl nazván Acorn Risc Machines. Proces tohoto navrhování byl přejet do nové firmy a poté změněn jejich název na Advanced Risc Machines.

Jak firma, tak procesory jsou teď známé pod zkratkou ARM. ARM je však především známý pro svůj rozsah nabídky procesorů RISC. Nabízí spoustu podpůrných technologií jak pro návrháře čipu, tak pro softwarové vývojáře. Firma ARM je především intelektuálním vlastníkem návrhu nebo jak oni sami říkají („semiconductor intellectual property“) a výrobu čipů („silicon manufacture“) zprostředkovávají jejich partneři.

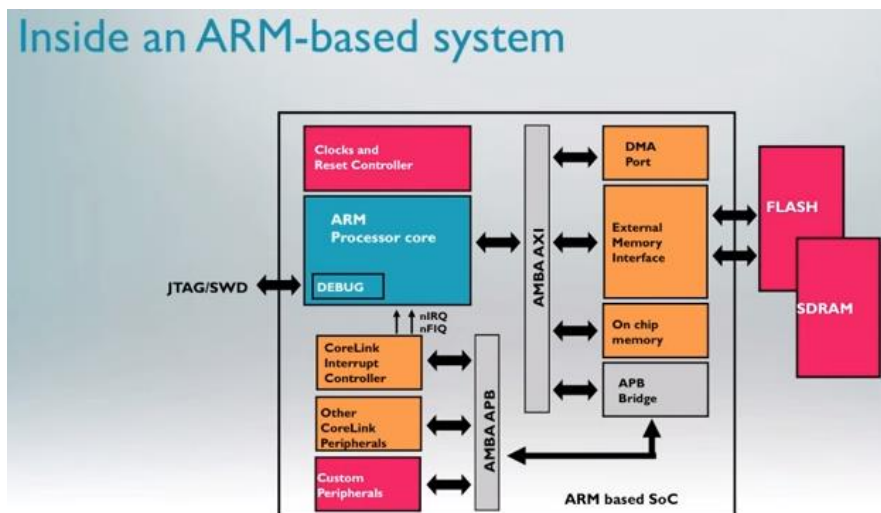
Díky velké škále jejich partnerů (přes tisíc firem) vzniká propojená komunita a produkty, které jsou vzájemně velice dobře kompatibilní. V současné době je ARM označován za nejoblíbenější architekturu embedded processingu na světě.

1.2 Zařízení struktury ARM

Typický (ARM based SoC) SoC obsahuje mnoho komponentů a pouze některé z nich pocházejí přímo z firmy ARM. Především je to však procesorové jádro zabudované v zařízení a nemusí být tvořeno přímo viditelnou součástíkou.

Debugovací port je připojený nejčastěji přímo k jádru. Dále obsahuje jednoduchou logiku jako časovače a resetovací obvody. ARM jádro má pouze 2 přerušovací vstupy a proto nejběžnější obvod bude zaměřen na řízení přerušení. Uvnitř zařízení jsou k sobě komponenty připojeny pomocí architektury sběrnice na čipu. Pro drtivou většinu systémů ARM to je AMBA propojení.

To definuje 2 sběrnice, pro vysoko-výkonové systémy AXI a pro nízko-výkonové systémy sběrnice APB. APB obecně pro periferie a AXI pro paměti a pro rychlá zařízení. Většina zařízení má paměť na čipu a také interface pro externí paměťová zařízení. Pro externí paměťová zařízení se však už sběrnice AMBA, nevyužívá je tedy pouze interní.



Obrázek 1 Zařízení založené na architektuře ARM [2]

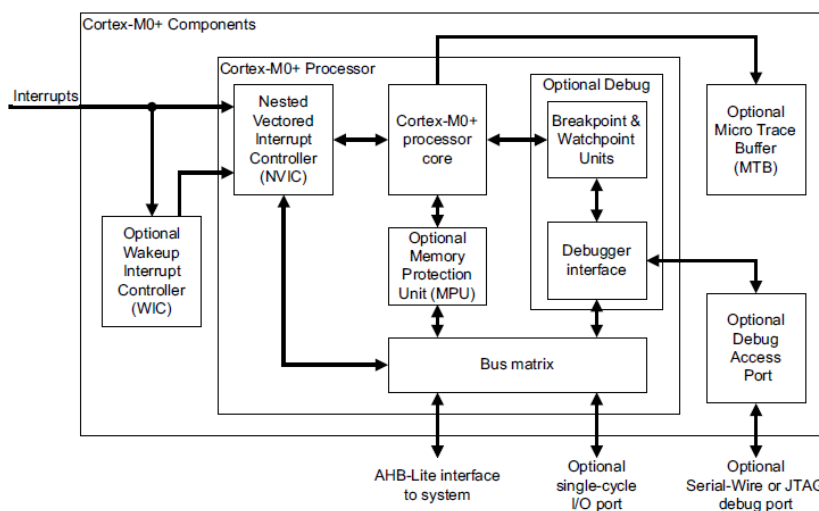


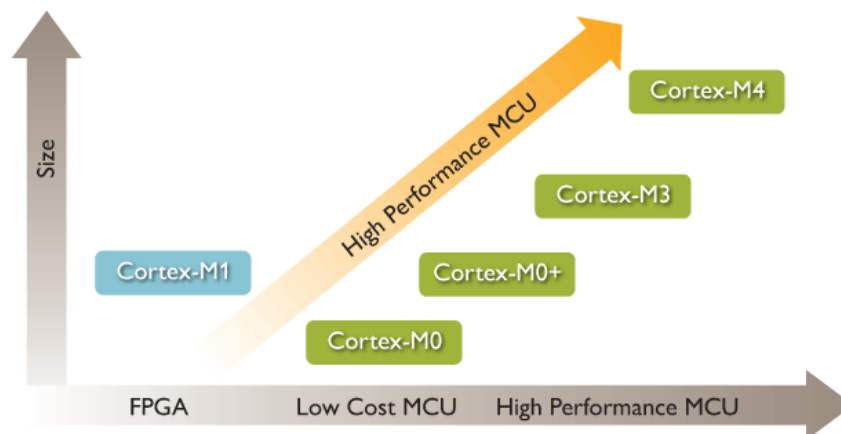
Figure 1-1 Cortex-M0+ implementation

Obrázek 2 Zařízení ARM s jádrem Cortex M0+ [10]

1.3 Embedded procesory ARM

Z původního produktu firmy ARM ARM7TDMI-S vznikla postupně odvozením a postupným vylepšováním velká škála produktů. V současné době existují dvě hlavní rodiny Cortex-M které jsou určeny k použití v mikrokontrolérech kde je rozhodující cena a Cortex-R rodina, která poskytuje velmi vysoký výkon, precizní časování a předvídatelnou latenci zpoždění.

Existují také Aplikační procesory Cortex-A, které se soustředí na škálovatelný vysoký výkon v aplikacích, jenž vyžadují platformní operační systém. Také vyžadují přidružené sofistikované paměťové řízení a rozšířené instrukční sady pro zpracovávání multimédií.



Obrázek 3 Srovnání rodiny Cortex M [2]

1.4 Mikrokontroléry

Mikrokontroléry nebo jednočipové počítače jsou integrované obvody, které obsahují procesor a přidružené periferie jako jsou paměti, A/D převodníky, vstupní a výstupní obvody nebo aritmetickologické jednotky, jenž jim umožňují specializovat se především na jednoúčelové aplikace. Je to zpravidla kontrola, řízení a zobrazování dat s velkou efektivitou a spolehlivostí.

1.4.1 KL25Z

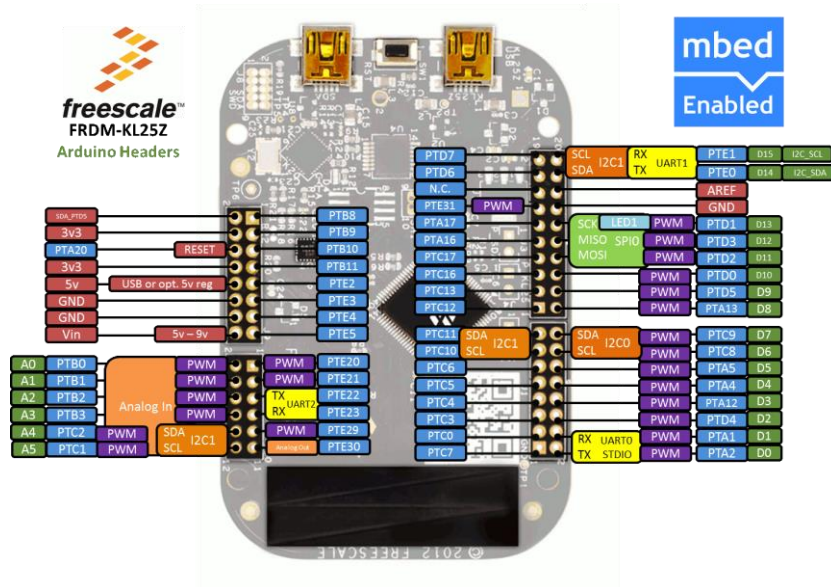
Freescale Freedom KL25Z je velmi levnou vývojovou platformou se zabudovaným procesorem ARM® Cortex®-M0+. Je připravena pro bateriové napájení a má zabudovaný debugovací interface pro flash programování a kontrolu běhu. Je podporována širokou škálou vývojových prostředí. Pracuje na frekvenci až 48 MHz, disponuje 128 KB paměti flash, 16 KB SRAM a možnost přímého přenosu dat USB OTG. Dále nabízí sofistikované OpenSDA debugovací rozhraní a má podporu mbed.

Funkce:

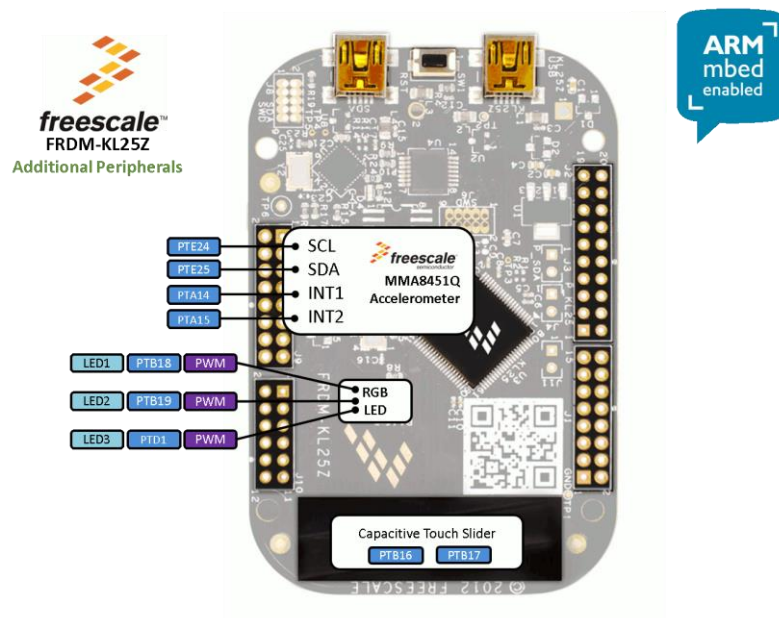
- USB (Host/Device)
- SPI (2)
- I²C (2)
- UART (3)
- PWM (TPM)
- ADC (16 bit)
- DAC (1x 12bit)
- GPIO (66)

Externí periferie:

- Kapacitní dotykové “šoupátko”
- MMA8451Q akcelerometr
- tříbarevná LED



Obrázek 4 Pinout KL25Z [3]



Obrázek 5 Přídavné periferie KL25Z [3]

2 PŘÍDAVNÉ PERIFERIE

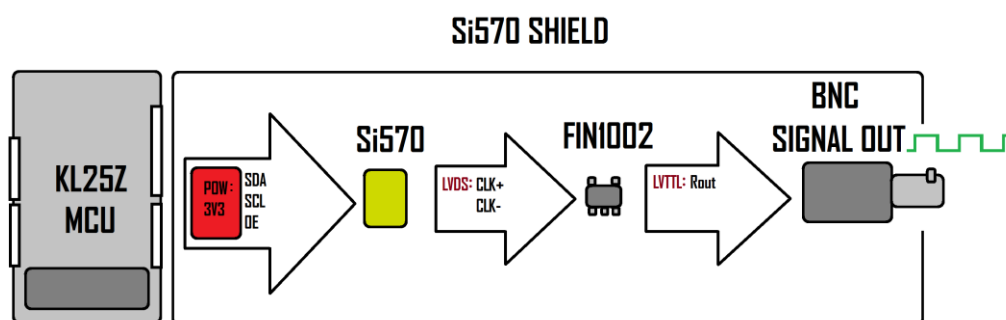
V rámci semestrálního projektu byly navrženy dva rozšiřující ovladatelné obvody kompatibilní s mikrokontrolérem KL25Z formou zásuvného modulu („Shield“).

2.1 Si570 Generator Shield

Programovatelný generátor s koncovým výstupem obdélníkového LVTTTL(L0V– H3,3V) signálu o programovatelných frekvencích v rozsahu od 10 do 945 MHz a vybranými frekvencemi do 1,4 GHz přes sběrnici I²C.

V našich aplikacích jej budeme využívat v rozsahu 10 až 200 MHz, kde může být použit například jako externí oscilátor k softwarově definovanému radiovému vysílači/přijímači nebo spouště jiných zařízení, kde je vyžadován kvalitní stabilní oscilátor.

Na tomto modulu je možné demonstrovat komunikaci mikrokontroléru přes I²C sběrnici.



Obrázek 6. Blokové schéma Si570 GS

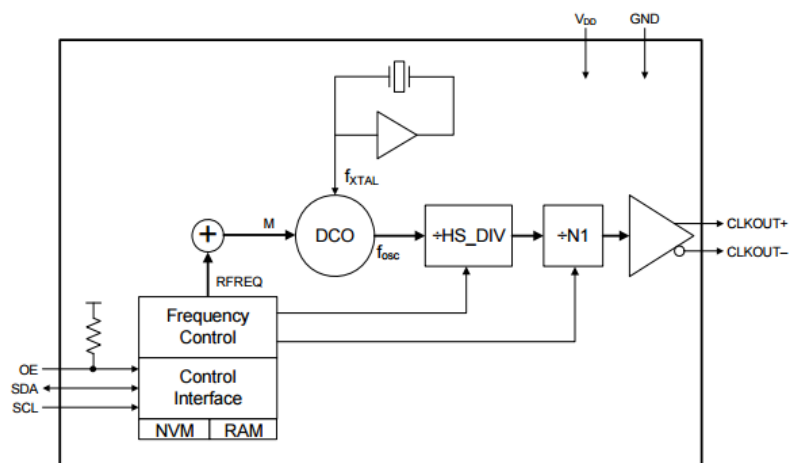
2.1.1 Si570

Obvod Si570 který byl vybrán je produktem firmy Silicon Laboratories. Základem obvodu je DCO, který odvozuje svůj kmitočet od referenčního krystalu. Oproti obvodům s přímou digitální syntézou DDS poskytuje lepší spektrální čistotu (SFDR). Si570 produkuje signál s malou fázovou nejistotou a velkou kmitočtovou stabilitou.

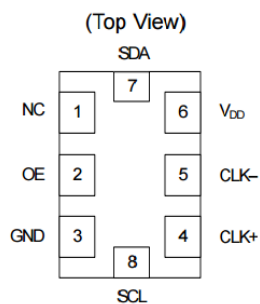
Stárnutí obvodu je deklarováno první rok ± 3 ppm po patnácti letech provozu ± 10 ppm ze startovací frekvence. Čip Si570 který je využíván má symetrický napěťový výstup LVDS s napěťovou úrovní ± 400 mV. Výstupní kmitočet je nastavován po sběrnici I²C. Platí vztah[7]:

$$f_{out} = \frac{f_{DCO}}{\text{Hodnoty výstupních děliček}} = \frac{f_{XTAL} \times RFREQ}{HS_DIV \times N1}$$

kde f_{out} je hodnota výstupní frekvence, f_{XTAL} je hodnota referenčního krystalu, $RFREQ$ hodnota 38-bitové frakční násobičky, HS_DIV a $N1$ hodnoty výstupních děliček.



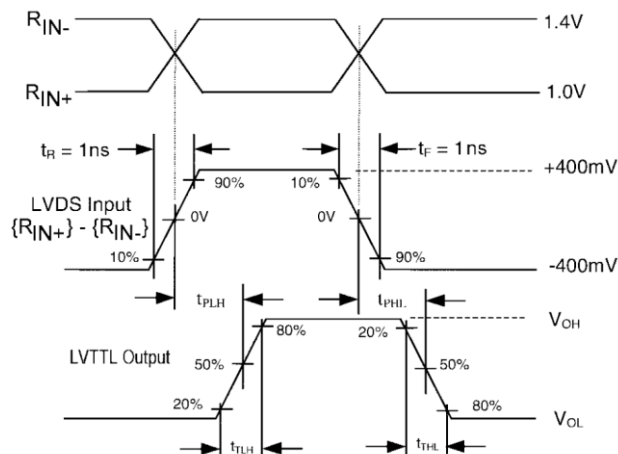
Obrázek 7. Blokový diagram vnitřního zapojení Si570[7]



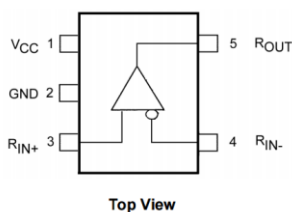
Obrázek 8. Vývody pouzdra Si570[7]

2.1.2 FIN1002

Tento obvod od firmy FAIRCHILD SEMICONDUCTOR převádí vysokorychlostní vstupní napětí logiky LVDS na napětí logiky LVTTTL. Výrobce udává datový tok je vyšší než 400Mbit/s. Rozsah frekvence vstupního signálu dodávaného z Si570 10 až 200 MHz tedy vyhovuje. Jeho funkci vysvětluje obrázek 9.



Obrázek 9. Převod logiky LVDS na LVTTTL obvodem FIN1002[9]



Obrázek 10. Vývody pouzdra FIN1002[9]

2.2 LEDCUBE Shield

Tento modul LED kostky velikosti 3x3x3 diody slouží k demonstračním účelům. Studenti mají možnost si na něm vyzkoušet práci s výstupy mikrokontroléru a časováním interaktivní formou. Celková koncepce je jednoduchá.

Pomocí výstupních pinů přivedených na LED se nastavením vysoké úrovně 3,3V vyberou diody, které mají svítit a výstupními piny přivedenými na bázi tranzistorů T1 až T3 pracujících jako spínače volíme patro, které se uzemní a obvod se tak uzavře. Při nastavení pracovního bodu tranzistoru vycházíme ze vzorce:

$$h_{21} = \frac{I_c}{I_b}$$

kde za h_{21} je proudový zesilovací činitel tranzistoru, I_c proud kolektorem tranzistoru, I_b proud bázi tranzistoru.

Proud bázi tranzistoru stanovíme:

$$I_b = \left(\frac{I_c}{h_{21}} \right) * 3$$

V tomto případě kde je tranzistor využíván jako spínač, se volí hodnota proudu tekoucího bázi tranzistoru I_b alespoň trojnásobně větší, než jaká je potřeba pro plné otevření.

V dalším kroku vypočteme potřebný úbytek napětí na rezistoru přivedeného na bázi tranzistoru:

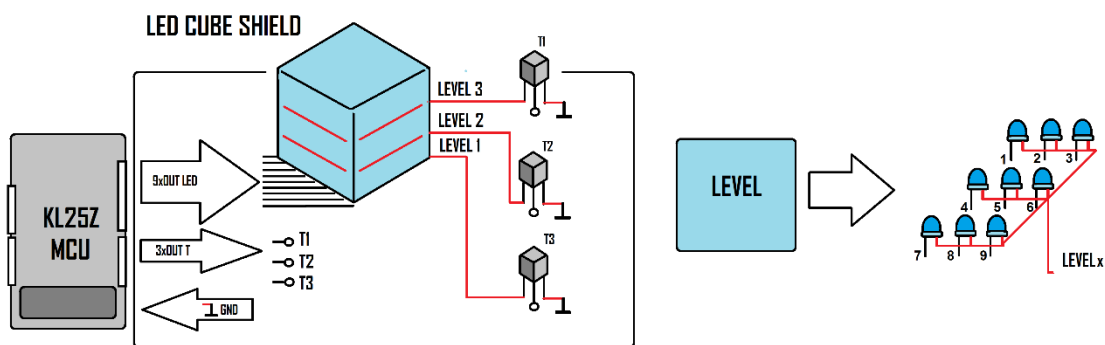
$$U_{rb} = U_{in} - U_{be}$$

kde U_{rb} je napětí na rezistoru do báze, U_{in} potom řídicí napětí úrovně H mikrokontroléru 3,3V a U_{be} saturační napětí tranzistoru, nejčastěji 0,7 V.

Známe tedy proud I_b , který by rezistorem měl téci a úbytek napětí U_{rb} který by na něm měl vzniknout. Nyní tedy můžeme vypočíst jeho výslednou hodnotu:

$$R_b = \frac{U_{rb}}{I_b}$$

Princip funkce LEDCUBE je zobrazen v blokovém chématu na obrázku 11.



Obrázek 11. Blokové schéma LEDCUBE Shield

3 VÝVOJOVÉ NÁSTROJE A PROSTŘEDÍ

Tato kapitola je věnována přehledu vybraných vývojových prostředí, se kterými je možné se v současné době setkat v souvislosti s mikrokontroléry ARM.

3.1 Integrated Development Environment (IDE)

Integrované vývojové prostředí je vývojový software obsahující editor zdrojového kódu, kompilátor případně debugger. Jedná se o základní nástroj programátorů, jenž má za úkol zvyšovat produktivitu. Mimo samotný proces sepsání aplikace často nabízí spoustu vývojových nástrojů, pomocí kterých lze aplikace snáze odladit či monitorovat v průběhu vývoje. Liší se nejen v nabízených možnostech, ale i kupních cenách.

3.1.1 Kinetis Design Studio (KDS IDE)

Kinetis Design Studio IDE je bezplatné integrované vývojové prostředí pro mikrokontroléry Kinetis vyvíjené firmou NXP.

Umožňuje editace, kompilování a debugging. Vychází z open-source softwaru Eclipse, což je vývojová platforma známá především pro svůj flexibilní návrh a možnost optimalizace pro daný programovací jazyk.

Jako kompilátor využívá GNU Compiler Collection (GCC). A jako debugger GNU Debugger (GDB). Nemá žádné limitační omezení na velikost kódu. A jeho největší výhodou je možnost využití nástroje Processor Expert, který nabízí usnadnění tvorby aplikace za použití grafických prvků.

Představeno na videu:

<https://www.youtube.com/watch?v=NyjAoMLGz4U>

3.1.2 CoCoX (Co IDE)

CoIDE je také bezplatné integrované vývojové prostředí pro mikrokontroléry ARM Cortex-M0/M0+/M3/M4. Používá GCC (GCC-ARM-Embedded) tool chain a je také založeno na prostředí Eclipse, ale je upraveno a zjednodušeno.

Má rozsáhlou komunitu registrovaných uživatelů, s nimiž je možné komunikovat, radit se nebo sdílet projekty na cloudu. Nabízí více než 800 komponent umožňujících uživatelům implementovat programy jednoduše skládáním do stavebních bloků.

Představeno na videu:

<https://www.youtube.com/watch?v=QtheTSCaK18>

3.1.3 ARM mbed Developer Site

The ARM® mbed™ IoT Device Platforma poskytuje operační systém, cloudové služby, nástroje a vývojářskou komunitu pro snadnější tvorbu a vývoj aplikací. Zkratka IoT(Internet of Things), česky „Internet věcí“ označuje propojování embedded zařízení

s internetem.

Platforma nabízí volné knihovny, hardwarové návrhy a online nástroje pro efektivní vývoj produktů běžící na mikrokontrolérech ARM. Obsahuje standardní C/C++ SDK, pro mikrokontroléry HDK, také podporuje vývojové desky, online kompilátor a online vývojové nástroje určené ke spolupráci vývojářů. SDK je licencován pod permissivní Apache 2.0 licenci, takže je možné jej použít jak v komerčních tak osobních projektech.

Mbed HDK specifikuje všechny podporované komponenty a obvody CMSIS-DAP rozhraní. To poskytuje jednoduché USB drag-n-drop programování a ladění pro cílový mikrokontrolér. Mbed online IDE, které je k dispozici podporuje všechny zařízení spadající pod HDK. Umožňuje přístup pomocí loginu a hesla odkudkoliv z internetu.

Běží ve webovém prohlížeči a je tedy dostupný pro všechny platformy bez nutnosti jakékoliv instalace. Jeho silnou stránkou je možnost importu knihoven a ukázkových příkladů z webové stránky Mbed nebo tvorba veřejných či soukromých projektů a spolupráce s ostatními uživateli, vše na pozadí user-friendly prostředí.

Kompilér také umožňuje exportovat kód do jiného toolchainu. Zajímavou možností je také využití databáze komponent, která nabízí knihovny pro rozličný hardware, middleware a IoT služby. K dispozici je spousta ukázkových kódů či fórum.

Představeno na videu:

<https://youtu.be/L5TcmFFD0iw>

Odkaz na webové stránky:

<https://developer.mbed.org/>

3.1.4 IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbench sdružuje kompilátor, assembler, linker a debugger do jednoho integrovaného vývojového prostředí podobně jako KDS. IAR, však má svůj vlastní skriptovací jazyk pro linker.

Jedná se o velice oblíbené vývojové prostředí mezi profesionálními vývojáři. Podpora pro C, Embedded C++ a C++. Pokročilé optimalizace pro rychlost a paměťový footprint kódu na mnoha úrovních. Oproti všem výše zmiňovaným prostředím má IAR tu nevýhodu, že je zpoplatněn. K dispozici je však zkušební třicetidenní verze s omezenou velikostí kódu.

Zkušební verzi IAR lze stáhnout na adrese:

<https://www.iar.com/iar-embedded-workbench/downloads/>

4 VÝVOJ APLIKACÍ

V této kapitole nalezneme přehled ukázkových aplikací a videí, které byly vyvinuty v rámci bakalářské práce.

Videa popisující jednotlivé aplikace a demonstrující jejich funkčnost, je možné nalézt na adrese:

<https://youtu.be/sikyzvHzldQ?list=PLq-pcqj6aRAIjp5WRTzP1ycggswWx5bV->

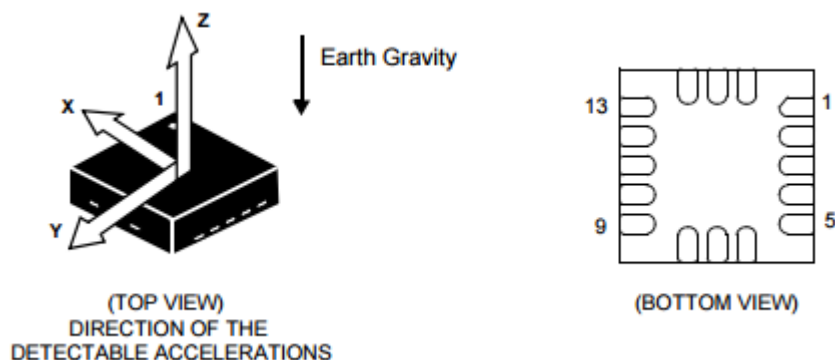
4.1 Aplikace vykreslování dat z akcelerometru v Matlabu

Tato aplikace se zaměřuje na využívání periferie akcelerometru mikrokontrolérem KL25Z a vizualizaci dat v PC ve studentům známém prostředí Matlab.

4.1.1 Akcelerometr MMA8451Q

MMA8451Q je chytrý tříosý akcelerometr pracující na principu změny kapacity, s mikrokontrolérem komunikuje po sběrnici I²C.

Základem těchto akcelerometrů je deskový kondenzátor a pohyblivá elektroda. MMA8451Q nabízí 14 bitové rozlišení, nízkou spotřebu a 2 konfigurovatelné piny přerušování. Především je však součástí vývojové platformy KL25Z a prostředí Mbed nabízí knihovny, díky kterým je možné snadno komunikovat a použít jej tak efektivně v komplexnějších projektech. Fyzické připojení k mikrokontroléru KL25Z je možné nalézt v obrázku 5.



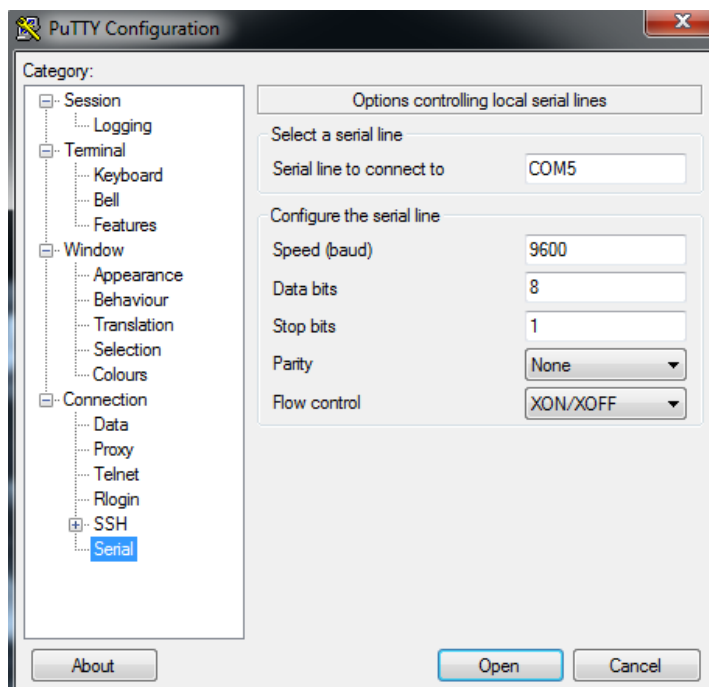
Obrázek 12 Osy a pouzdro akcelerometru MMA8451Q [8]

4.1.2 Kód Mbed:

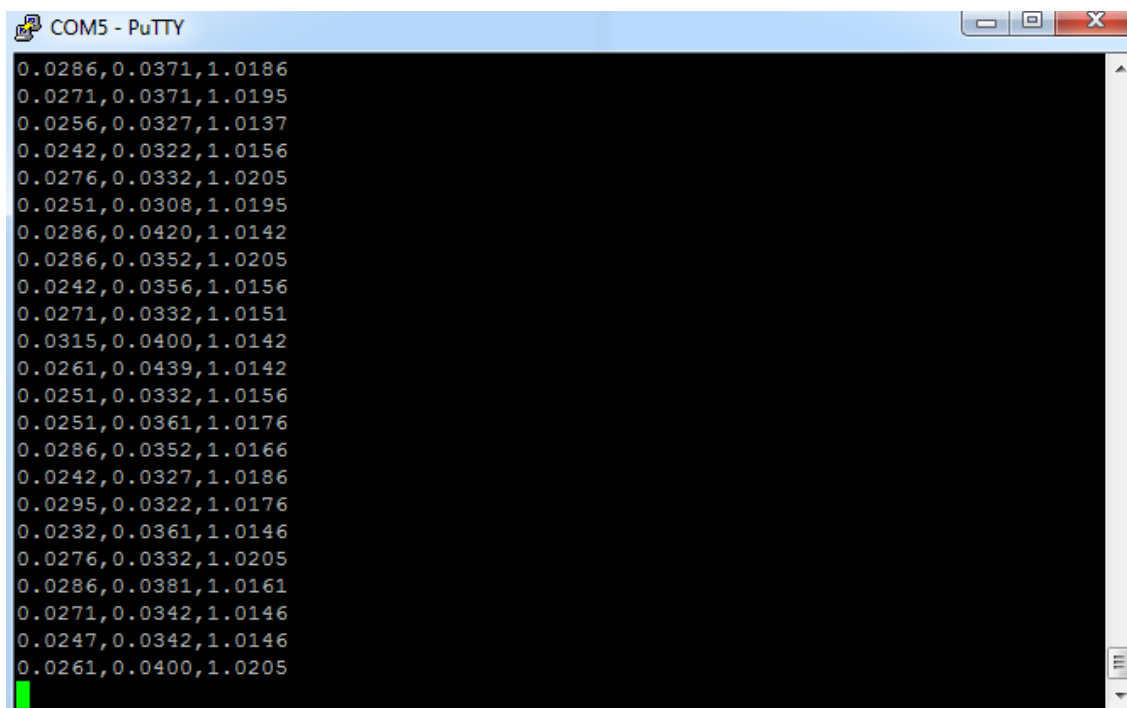
V prostředí Mbed byl vytvořen jednoduchý kód, který získává souřadnicová data x , y , z z akcelerometru MMA8451Q. Ty následně ve formátu float posílá skrze USB do pc formátované jako:

```
printf("%1.4f,%1.4f,%1.4f\r\n", x, y, z);
```

Defaultní nastavení komunikace skrze asynchronní sériovou linku můžeme sledovat na obrázku 13. Obrázek je pořízen z programu PuTTY, které umožňuje monitorování zvolené komunikační linky. Samotný výsledek je na obrázku 14.



Obrázek 13 Nastavení sériové komunikace v prostředí PuTTY

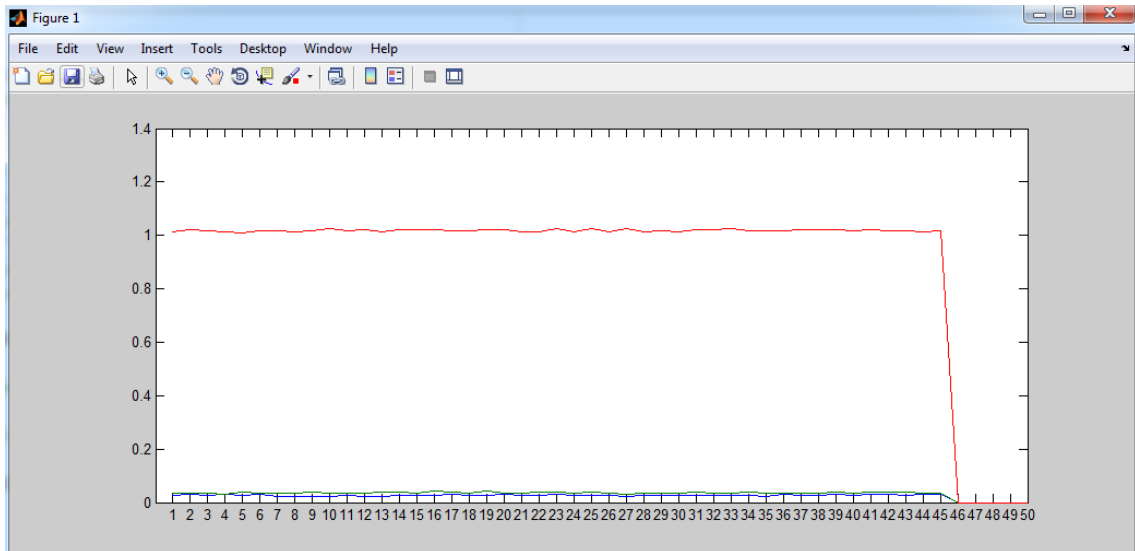


Obrázek 14 Monitorování komunikační linky

4.1.3 Kód Matlab:

V interaktivním programovém prostředí Matlab byl vytvořen skript, který v nekonečné smyčce načítá formátovaná data souřadnic x , y , z vysílaná z mikrokontroléru a ty následně v reálném čase vykresluje do dvourozměrného grafu.

Na obrázku 15 lze pozorovat tento proces. Zařízení se nacházelo ve vodorovné poloze, což je patrné z grafu na obrázku 15. Kde červená křivka představuje souřadnici z . V bodě 46 bylo zařízení odpojeno a komunikace se tak ukončila.



Obrázek 15 Vykreslování dat z akcelerometru v prostředí Matlab

4.2 ARM mbed a základní konfigurace

V tomto videu je blíže představeno prostředí mbed a vývojová platforma KL25Z. Dále se video zabývá nastavením vývojového prostředí a podrobným postupem přeprogramování defaultního firmwaru zařízení pro vzájemnou kompatibilitu. Video si klade za cíl provést diváka krok za krokem jednotlivými úskalími.

V závěru videa nalezneme názornou ukázkou programování vývojové platformy.

4.2.1 Ukázkový program:

V jednoduchém seznamovacím programu pojmenovaném mbed_blinky je představena definice výstupního pinu nazvaného myled naadresovaného na LED1, pod kterou se v knihovně mbed skrývá adresa červené led diody, naší vývojové platformy.

Poté jsou na tento výstupní pin v nekonečné smyčce vysílány střídavě signály L a H prokládané zpožděním 0,2 sekundy.

Zdrojový kód:

```
#include "mbed.h"

DigitalOut myled(LED1);

int main() {
    while(1) {
        myled = 1;
        wait(0.2);
        myled = 0;
        wait(0.2);
    }
}
```

4.3 Aplikace pro měření vzdálenosti ultrazvukovým senzorem

Aplikace se soustředí na využití externího modulu ultrazvukového senzoru HC-SR04 vývojovou platformou KL25Z. Demonstruje získávání a zobrazování dat vzdálenosti objektu od senzoru v PC, skrze universální sériovou sběrnici terminálovým programem PuTTY.

4.3.1 Ultrazvukový senzor HC-SR04

HC-SR04 je modul ultrazvukového senzoru, který poskytuje bezkontaktní měřicí funkci v pásmu 2cm – 400cm. Výrobce udává přesnost je $\pm 3\text{mm}$. Modul obsahuje ultrazvukový vysílač, přijímač a řídicí obvod.



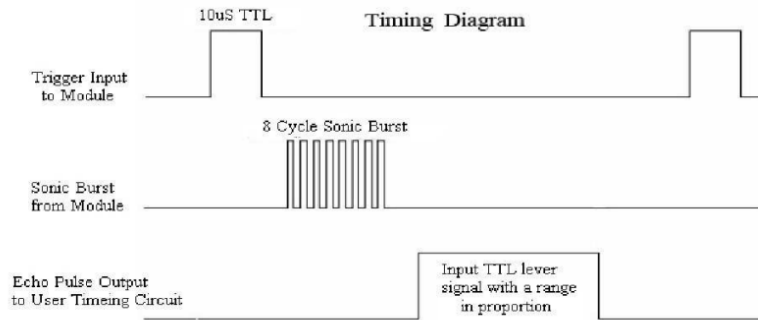
Obrázek 16 Modul HC-SR04 a jeho výstupy [14]

Základní funkce je vyvolávání vysokofrekvenční zvukové vlny a zachytávání echa, které je získané odrazem od překážky. Pro vyslání je na vstup Trigger nutné přivést vysokoúrovňový signál trvající alespoň $10\mu\text{s}$. Modul poté automaticky odešle osm 40kHz pulsů a detekuje, zda se signál vrací zpět. Pokud se signál vrací, bude doba trvání výstupního pulsu vysoké úrovně na pinu Echo úměrná době od odeslání pulsů do návratu. Vzdálenost překážky se poté vypočte ze základního fyzikálního vztahu:

$$\text{Vzdálenost} = T \times V / 2$$

V této rovnici za T dosadíme časový údaj, po který je na výstupu Echo přítomna vysoká úroveň. Písmeno V potom označuje rychlost zvuku (uvažujeme 340 M/s).

V profesionálních měřeních je třeba počítat, že rychlost zvuku se bude měnit v závislosti na teplotě, vlhkosti a tlaku vzduchu.



Obrázek 17 Časový diagram průběhů ultrazvukového modulu [15]

4.3.2 Kód Mbed:

V prostředí Mbed byl vytvořen kód, který pracuje s modulem HC-SR04 a při změně vzdálenosti měřeného objektu odešle formátovanou vzdálenost skrze USB do PC. Hlouběji je problematika kódu vysvětlena v odpovídajícím videu. Výstupní formát dat je dán následujícím úsekem kódu:

```
printf("Distance changed to %dmm\r\n", distance);
```

Kód počítající vzdálenost v jednotkách milimetrů nalezneme v knihovně ultrasonic.cpp ve funkci update vzdálenosti:

```
void ultrasonic::_updateDist()
{
    end = _t.read_us ();
    done = 1;
    _distance = (end - start)/6;
    _tout.detach();
    _tout.attach(this, &ultrasonic::_startTrig, _updateSpeed);
}
```

Analogická rovnice je rovněž dohledatelná v katalogovém listu ultrazvukového modulu[15]. Formule udává, že pokud jsme schopni změřit dobu mezi vysláním a přijetím signálu v μs , potom při podělení doby trvání tohoto signálu konstantou 58 získáme vzdálenost objektu, od něž se signál odrazil v centimetrech.

4.4 Znakový LCD display

Cílem tohoto instruktážního videa je předvést implementaci znakového LCD displeje do projektu a otevření tak možností vizualizace dat znakového charakteru.

4.4.1 LCD Keypad Shield

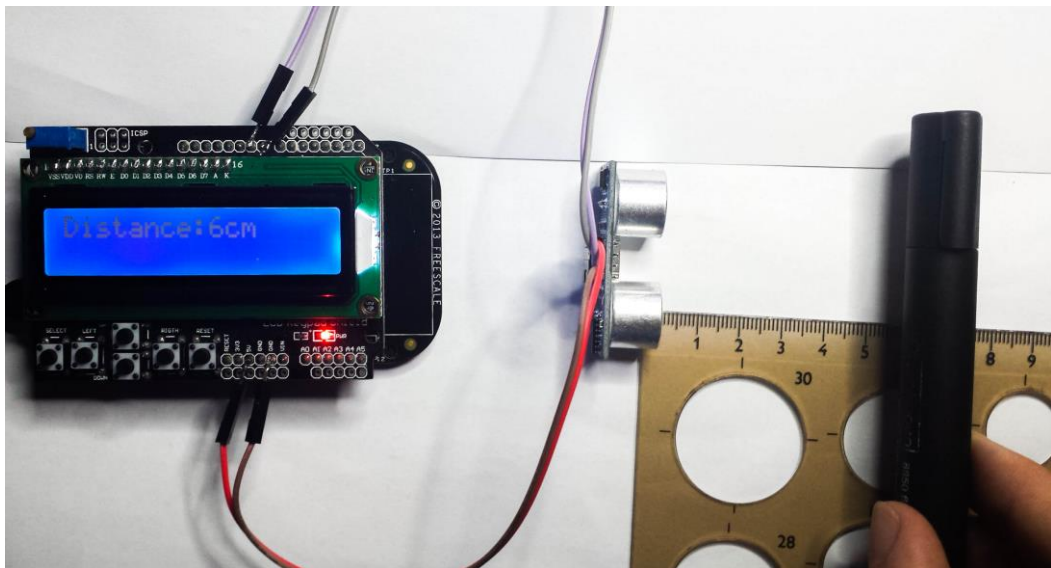
Ve videích je využíván shield, na internetu běžně dohledatelný pod názvem LCD keypad shield DeekBot. Display disponuje rozlišením 16x2, což znamená, že na jednom řádku lze zobrazit 16 znaků ve 2 řádcích. O řízení displeje se stará notoricky známý obvod HD44780. Dále lze na modulu nalézt 5 tlačítek připojených přes pěti úroňový napěťový dělič na jeden pin.

4.4.2 Začlenění znakového LCD do projektů/aplikací

Ve vzorových aplikacích je popsáno, jak postupovat, chceme-li do stávajícího programu začlenit LCD, aby cílově zobrazoval požadované výstupy.

Z prvního ukázkového programu je zřejmé, jak fungují tlačítka na displeji a podsvícení. Dále je v programu využití několika hlavních funkcí z řídicí knihovny jako je adresování kurzoru, čištění displeje a výpis znaků nebo řetězců.

Druhý program je potom rozšíření aplikace s ultrazvukovým senzorem o zobrazovací jednotku displeje. Výsledek je uveden na obrázku 18.



Obrázek 18 Displej 1602 zobrazující změřenou vzdálenost objektu

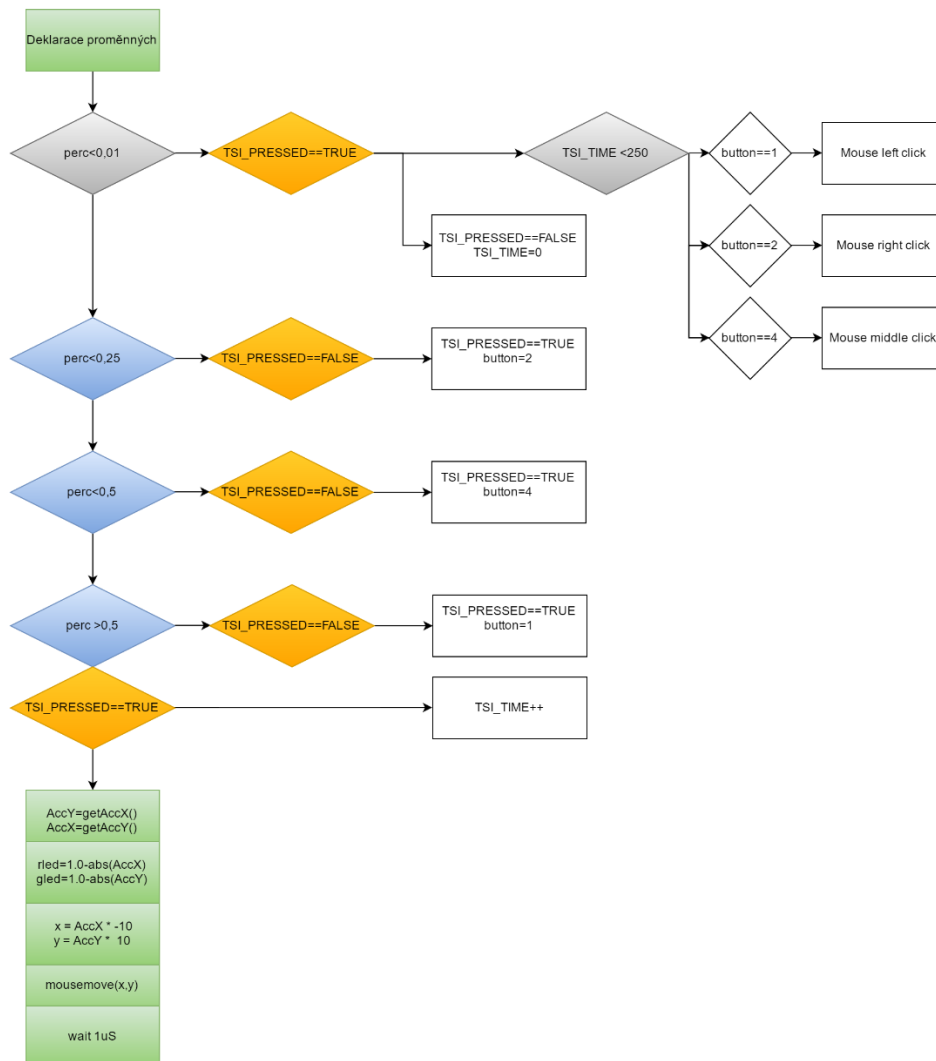
4.5 Aplikace vzduchová myš ovládaná akcelerometrem

Aplikace vzduchová USB myš umožňuje simulovat hardwarovou počítačovou myš se všemi jejími možnostmi pohybem v prostoru bez optické či laserové diody. Tlačítka jsou realizována prostřednictvím kapacitního senzoru, takzvaného slideru, a pohyb kurzoru po obrazovce je řízen za pomoci dat z akcelerometru.

Periferie, které v programu využíváme, jsou již součástí platformy KL25Z a celé zařízení je tak značně mobilní. Komunikace s počítačem je opět řešena po universální sériové sběrnici.

4.5.1 Vývojový diagram funkce programu:

Pro lepší pochopení funkce řídicího kódu byl sestrojen vývojový diagram obrázek 19. Ten je podrobně popsán v odpovídajícím videu. Pro přehlednost diagramu jsou návratové šipky z podmínkových bloků vynechány a předpokládá se pokračování běhu programu v místě hlavní kořenové větve (nalevo).



Obrázek 19 Vývojový diagram programu vzduchová myš

4.6 Aplikace řízení LEDCUBE Shield

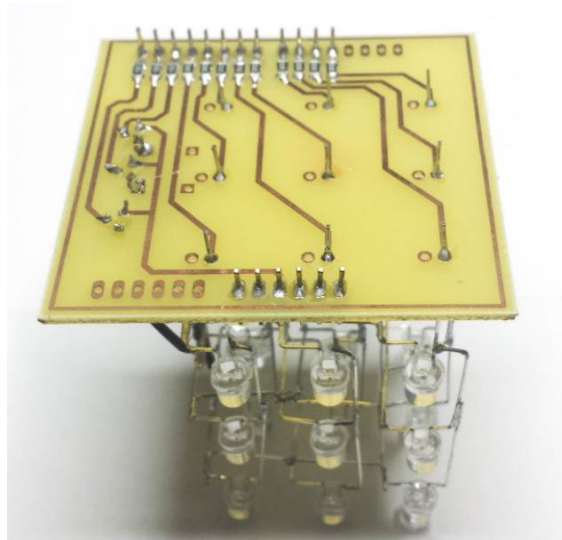
LEDCUBE shield je tvořený maticí LED, řízenou výstupy mikrokontroléru. Na této LED matici lze tvořit různé úlohy s využitím vstupně výstupních pinů časování a externích periférií. Byly vytvořeny dvě vzorové úlohy. Zatímco první úloha pouze demonstruje základní řízení maticového systému, druhá využívá akcelerometru, pomocí kterého zjišťuje osu náklonu. V daném směru se potom vytvoří rovina realizovaná svítícími LED diodami.

4.6.1 Realizace LEDCUBE Shield

Matice byla realizována jako soustava LED 3x3x3. Tato matice je na jednovrstvé DPS. Shield obsahuje piny pro zasunutí do modulu KL25Z. Na obrázcích 20 a 21 je tato LED matice zobrazena.



Obrázek 20 LEDCUBE shield



Obrázek 21 LEDCUBE shield strana spoje

4.7 Aplikace pro SI570 Shield

Tato aplikace spolu s obvody Si570 a FIN1002 slouží jako generátor obdélníkového signálu o úrovni 3,3 V v rozsahu 10 MHz – 200 MHz, jenž lze například použít jako externí oscilátor pro softwarově definované rádia.

4.7.1 Kód Mbed:

Níže je znázorněna část kódu, která slouží pro nastavování výsledné frekvence. Do proměnné *freq* uložíme požadovanou hodnotu v MHz a knihovna SI570 pomocí funkce *set_frequency* vypočte vhodné hodnoty a po sběrnici I2C provede nastavení násobiček a děliček obvodu Si570, tak aby na výstupu byla požadovaná frekvence. Pro příklad je tedy nastavena hodnota 50, která představuje 50 MHz na výstupu generátoru. Kompletní kód je obsažen v příloze na CD.

Část zdrojového kódu:

```
#include "mbed.h"
#include "SI570.h"

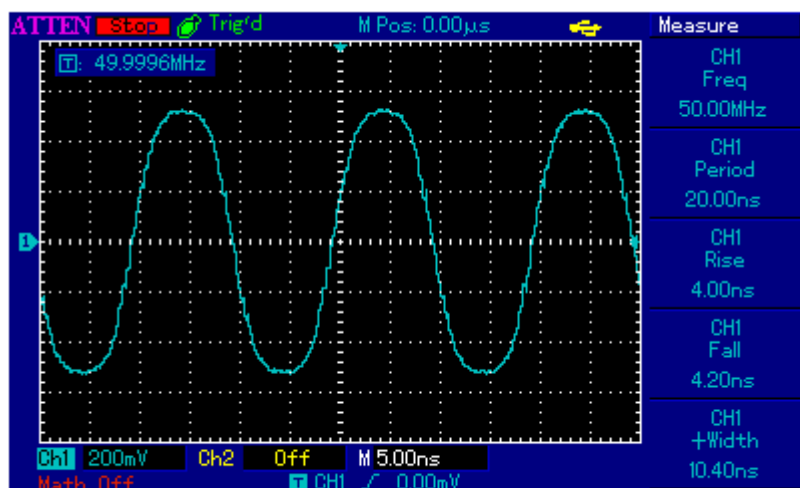
SI570 si570(PTC9, PTC8, 0x55);

int main() {

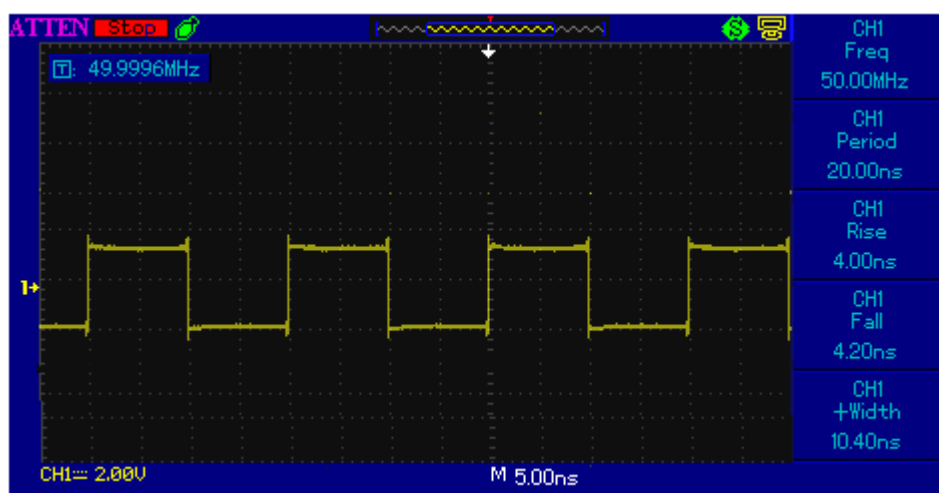
float freq=50.0;
si570.set_frequency(freq);

while (1) {}
}
```

Výsledek je vidět na obrázcích 22 a 23, které ukazují výstupní průběhy daného generátoru. Obrázek 22 ukazuje průběh přímo za obvodem Si570, který generuje LVDS sinusový signál. Na obrázku 23 je zobrazen již převedený obdélníkový signál o úrovni 3,3 V.



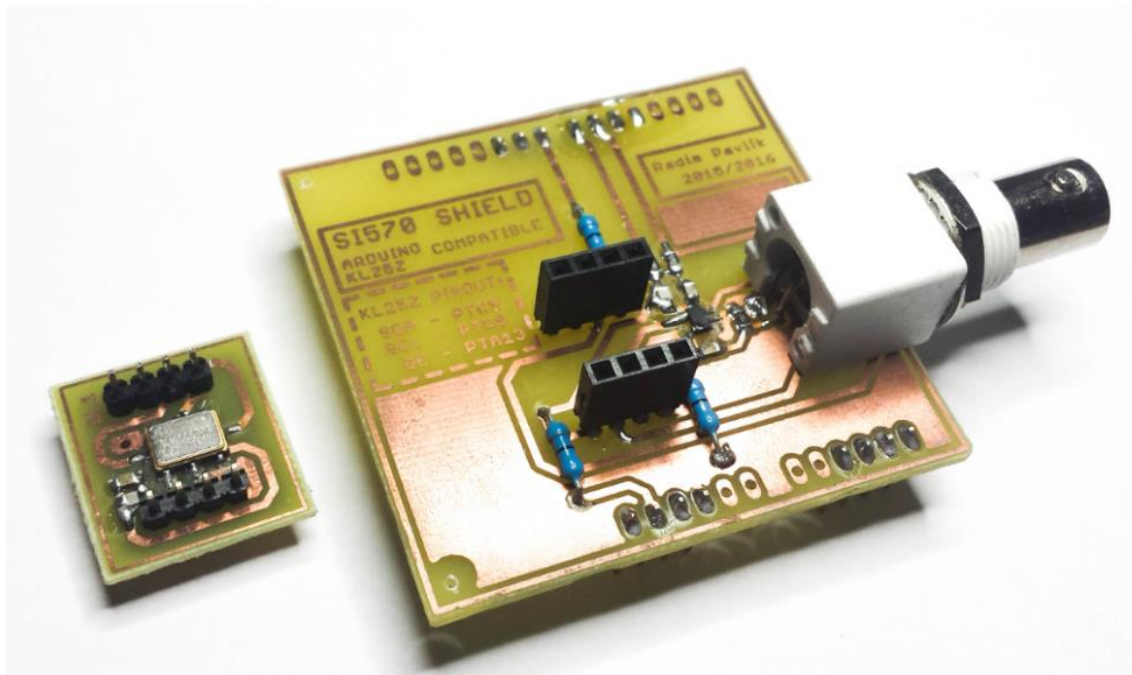
Obrázek 22 Změřený sinusový signál za Si570



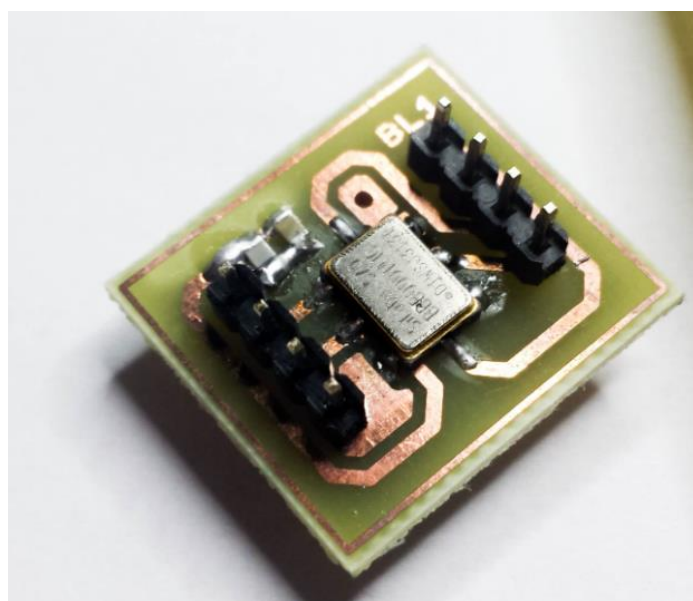
Obrázek 23 Změřený obdélníkový signál za FIN1002

4.7.2 Realizace modulu

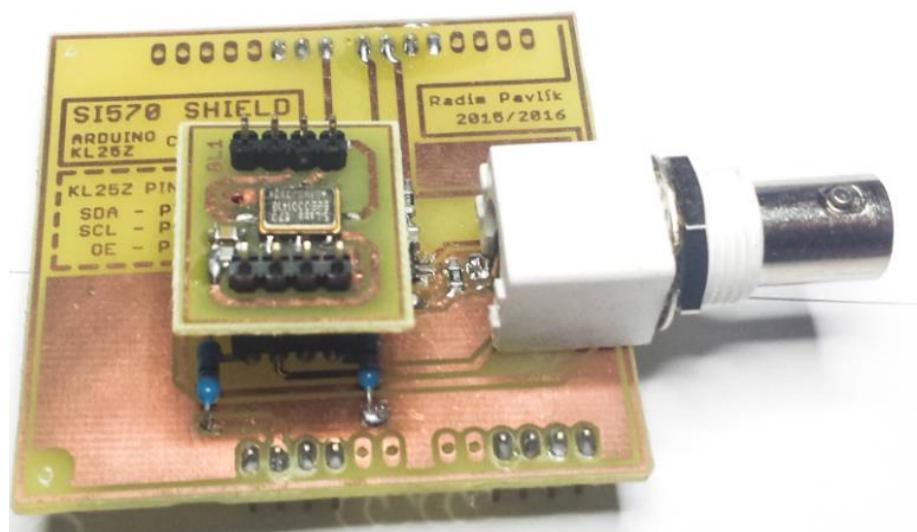
Modul je složen ze dvou částí, a to z hlavní desky a zásuvného modulu BL1 se samotným obvodem Si570. Hlavní deska je realizována jednovrstvou technologií. Deska s obvodem Si570 je dvouvrstvá a je vybavena piny, které slouží pro zasunutí do hlavní desky. Realizovaný modul je názorný na obrázku 24.



Obrázek 24 Modul generátoru s Si570 (vlevo: Si570 shield, vpravo: hlavní deska)



Obrázek 25 Detail Si570 shield



Obrázek 26 Modul *BLI* zasunutý v hlavní desce *Si570 shield*

5 ZÁVĚR

Prvním cílem bakalářské práce bylo seznámit se s možnostmi vývoje aplikací pro mikrokontroléry, práce tedy popisuje stručné seznámení s architekturou procesorů ARM a dále se zaměřuje na přehled vybraných vývojových nástrojů, prostředí a popis jaké možnosti při programování mikrokontrolérů nabízejí.

Druhým cílem bylo navrhnout soubor aplikací v jazyce C, s přínosem pro studenty. Tato část byla konzultována s vedoucím práce a v průběhu řešení práce tak vznikla sada programů, jež byla v závěrečné práci dokončena v plném rozsahu.

V rámci práce byla navržena a realizována aplikace měření vzdálenosti ultrazvukovým senzorem, aplikace pro vykreslování dat z akcelerometru do Matlabu, aplikace představující tzv. vzduchovou myš, aplikace demonstrující využívání LCD znakových displejů a instruktážní video pro seznámení se vývojovým prostředím Mbed a základní nastavení. Dále byly realizovány dva přídavné obvody. První z nich je „LEDCUBE“ shield, jenž představuje LED matici, která slouží pro demonstraci základních operací s vývojovou platformou FRDM-KL25. Druhou je shield s obvodem Si570, který slouží jako generátor obdélníkového signálu v rozsahu 10 MHz - 200 MHz.

Zmíněné aplikace a přídavné obvody jsou tedy podrobně popsány za pomoci videí, která můžeme nalézt na internetovém serveru YouTube. Odkaz je uveden na začátku kapitoly 4. Videá mají tendenci postupně zvyšovat svou obtížnost a poskytují snadný přístup ke kódu a jinému materiálu formou odkazu v komentářích videa. Na začátku každého videa je zpracován úvod do dané problematiky, kde jsou objasněny teoretické informace k vypracování cvičení. Videá umožňují následovat krok za krokem cvičení a interaktivní formou se tak vzdělávat v oblasti programování mikrokontrolérů.

Za typ programovatelného obvodu byl zvolen cenově dostupný 32bitový vývojový kit FRDM-KL25Z jenž vyrábí firma Freescale Semiconductor(NXP) a je na českém trhu snadno k dostání, například na stránkách internetového obchodu Farnell. Byl představen v první kapitole.

LITERATURA

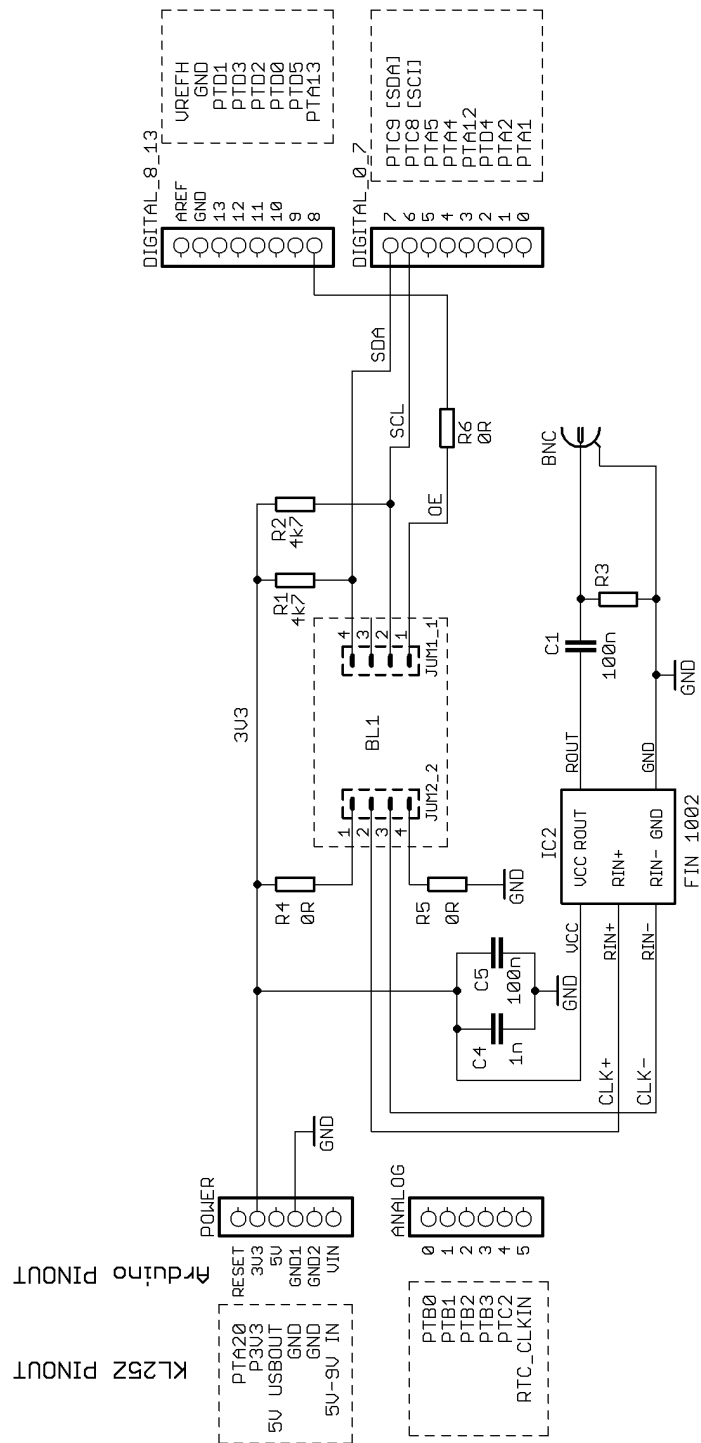
- [1] SLOSS, A.N, SYMES, D., WRIGHT, Ch. ARM system developer's guide: designing and optimizing system software. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2004, 689 s. ISBN 15-586-0874-5.
- [2] ARM. ARM Infocenter [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://infocenter.arm.com/help/index.jsp>
- [3] Mbed. ARM mbed Developer Site [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <https://developer.mbed.org/>
- [4] Coocox. Coocox [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://www.coocox.org/>
- [5] IAR. IAR Systems [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <https://www.iar.com/iar-embedded-workbench/>
- [6] FRDM-KL25Z. NXP [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/products/software-and-tools/hardware-development-tools/freedom-development-boards/freedom-development-platform-for-kinetis-kl14-kl15-kl24-kl25-mcus:FRDM-KL25Z>
- [7] Datasheet: si570 [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <https://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/si570.pdf>
- [8] Datasheet: MMA8451Q [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: http://www.nxp.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8451Q.pdf
- [9] Datasheet: FIN1002 [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/FI/FIN1002.pdf>
- [10] Datasheet: Cortex-M0+ Devices [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: http://www.keil.com/dd/docs/datashts/arm/cortex_m0p/r0p0/dui0662a_cortex_m0p_r0p0_dgug.pdf
- [11] Reference manual: KL25 Sub-Family Reference Manual [online]. [cit. 2015-12-15]. http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/ref_manual/KL25P80M48SF0RM.pdf
- [12] Arduino – LED Cube 3x3x3. INSTRUCTABLES [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Arduino-LED-Cube-3x3x3/>
- [13] PAVLÍK Radim a Pařízek TOMÁŠ. SDR RECEIVER FALCON: Dokumentace k ročníkovému projektu. Třebíč, 2013.
- [14] [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [14] <http://microcontrollerelectronics.com/wp-content/uploads/2014/10/HCSR04.jpg>
- [15] Datasheet: HC-SR04 [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

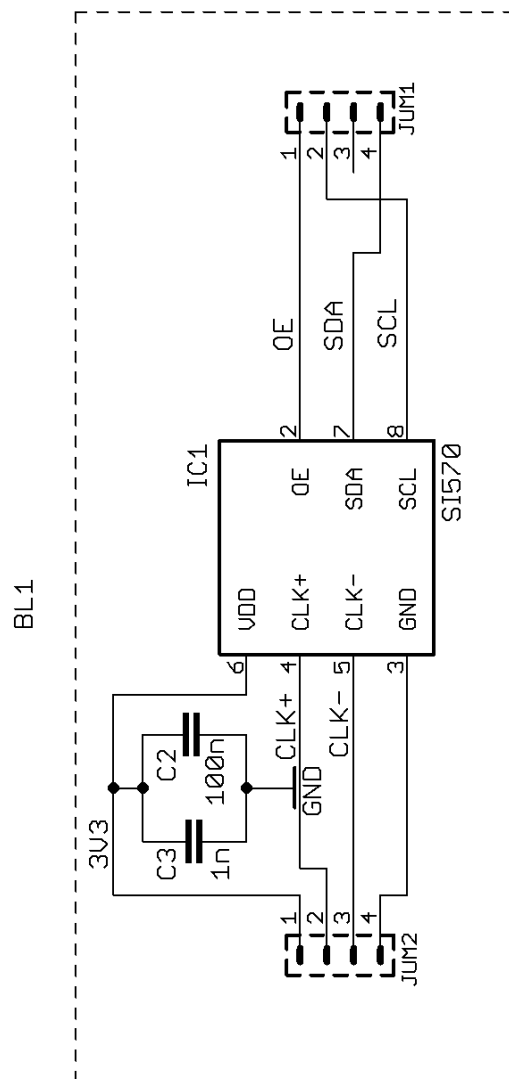
<i>RISC</i>	Reduced instruction set computing, Redukovaná instrukční sada
<i>SoC</i>	System on chip, Systém na čipu
<i>USB</i>	Universal serial bus, Univerzální sériová sběrnice
<i>OTG</i>	On the go
<i>OpenSDA</i>	Open standard serial and debug adapter
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface, Sériové periferní rozhraní
<i>I²C</i>	Inter integrated circuit
<i>UART</i>	Universal asynchronous receiver and transmitter
<i>PWM</i>	Pulse width modulation, Pulzní šířková modulace
<i>TPM</i>	Timer pulse width modulation, Časovačem řízená pulzní šířková modulace
<i>ADC</i>	Analog to digital converter, Analogově číslicový převodník
<i>DAC</i>	Digital to analog converter, Číslicově analogový převodník
<i>GPIO</i>	General Purpose Input/Output, Obecně sloužící vstupy/výstupy
<i>LVTTTL</i>	Low voltage transistor transistor logic
<i>LVDS</i>	Low-voltage differential signaling, Nízkonapěťové rozdílové signály
<i>DCO</i>	Digitally controlled oscillator, Digitálně řízený oscilátor
<i>DDS</i>	Direct Digital Synthesis, Přímá digitální syntéza
<i>SFDR</i>	Spurious Free Dynamic Range
<i>PPM</i>	Parts per milion, Dílků na milion
<i>IDE</i>	Integrated development environment
<i>XO</i>	Crystal oscillator, Krystalový oscilátor
<i>VCXO</i>	Voltage controlled crystal oscillator, Napětím řízený krystalový oscilátor
<i>GCC</i>	GNU Compiler Collection
<i>GDB</i>	GNU Debugger
<i>IoT</i>	Internet of things, Internet věcí
<i>SDK</i>	Software development kit, Softwarový vývojový kit
<i>HDK</i>	Hardware development kit, Hardwarový vývojový kit
<i>PCB</i>	Printed circuit board, Deska plošného spoje

A NÁVRH SI570 GENERATOR SHIELD

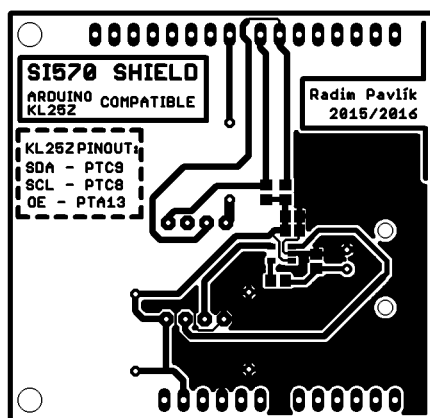
A.1 Obvodové zapojení – Hlavní



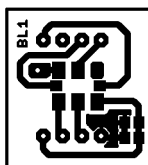
A.2 Obvodové zapojení – Si570 Modul BL1



A.3 Si570 SHIELD DPS [top]

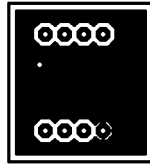


Rozměr hlavní desky 53,85 x 55,88 [mm], měřítko M1:1



Rozměr desky modulu blok1 20,57 x 17,78 [mm], měřítko M1:1

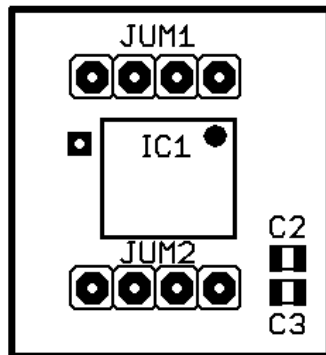
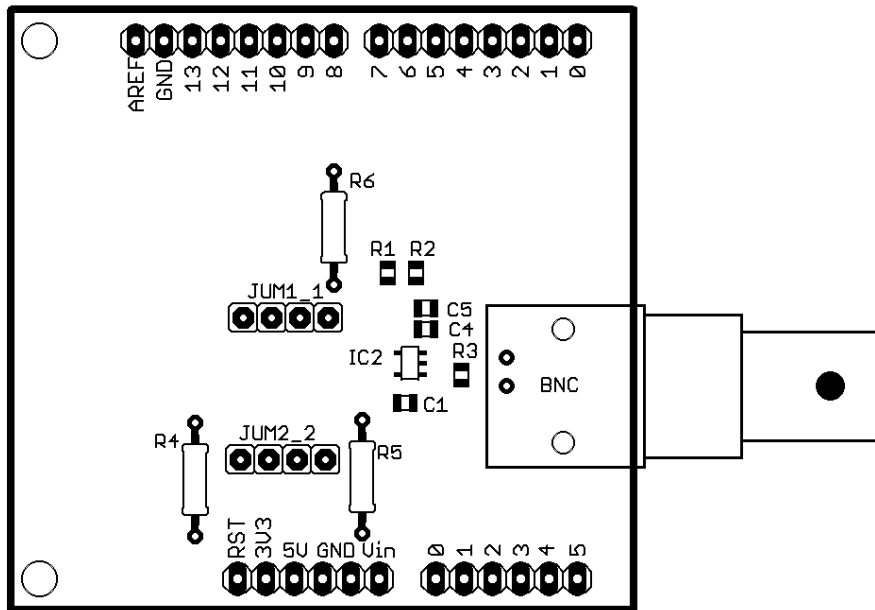
A.4 Si570 SHIELD DPS [bottom]



Rozměr desky modulu blok1 20,57 x 17,78 [mm], měřítko M1:1

POZN. Hlavní deska má pouze vrstvu TOP

A.5 Si570 SHIELD osazovací list [top]

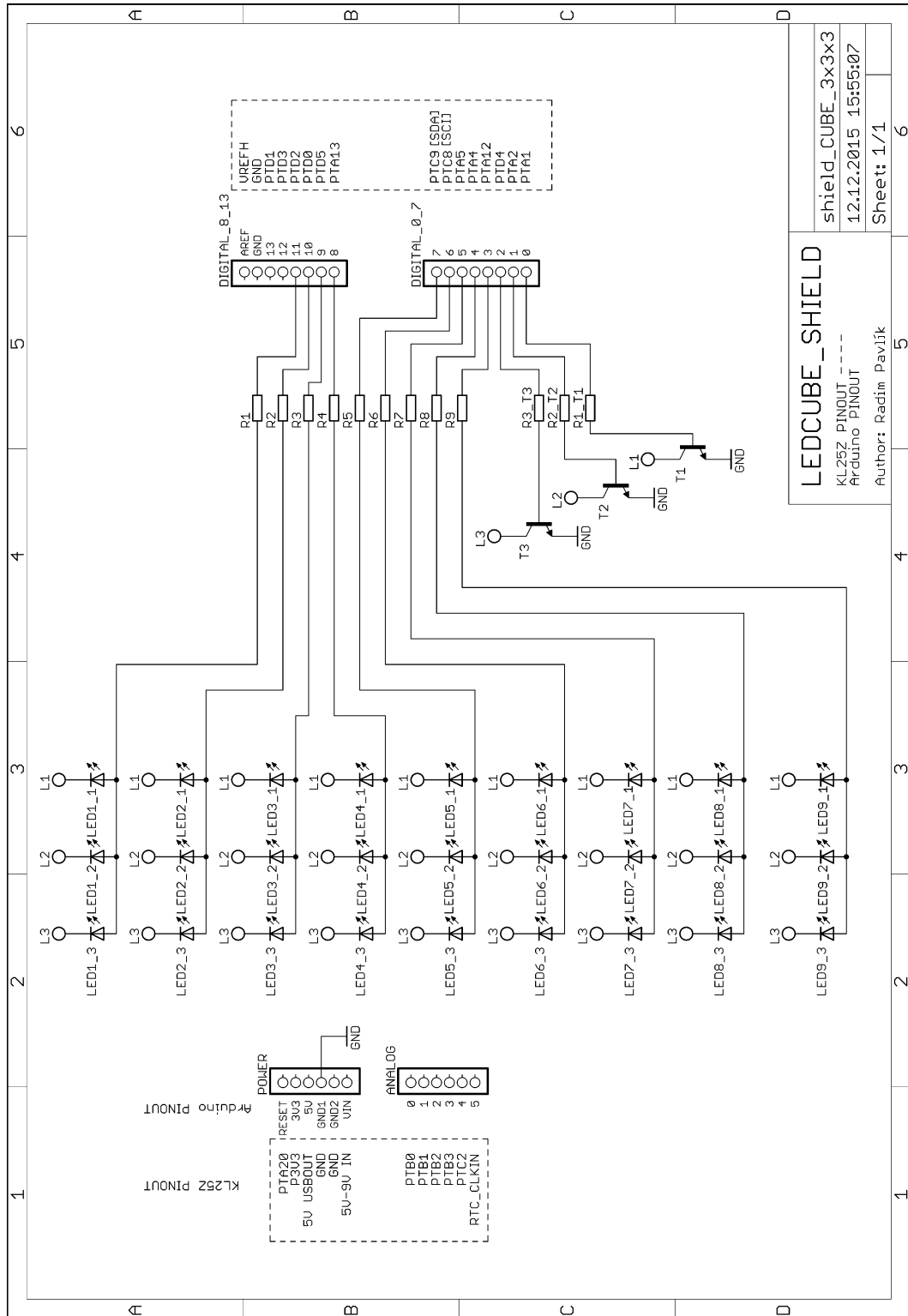


Seznam součástek Si570 GENERATOR SHIELD

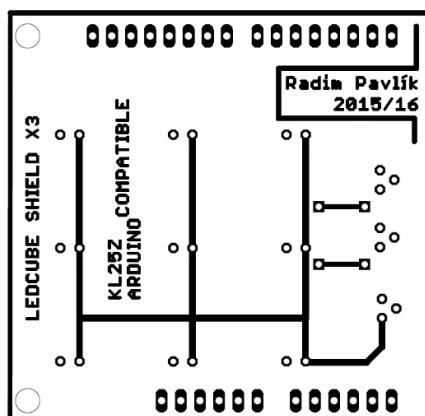
Počet	Hodnota	Součástka	Pouzdro	Označení	Popis
2	4k7	R-EU_R0805	R0805	R1, R2	-
1	10K	R-EU_R0805	R0805	R3	-
3	0R	R-EU_0207/10	0207/10	R4, R5, R6	-
3	100n	C-EUC0805	C0805	C1, C2, C5	-
2	1n	C-EUC0805	C0805	C3, C4	-
4	-	S1G4_JUMP	S1G4_JUM	JUM1, JUM1_1, JUM2, JUM2_2	Řadové konektory
1	SI570	SI570	8-PIN	IC1	I2C Programovatelný XO/VCXO
1	FIN1002	FIN100X	SOT23-5	IC2	LVDS 1-Bitový vysokorychlostní rozdílový přijímač
1	-	1-227161-0	AMP_2271 61	BNC	Jack, Pravý úhel, 50 Ohm, PCB, BNC

B NÁVRH LEDCUBE SHIELD

B.1 Obvodové zapojení

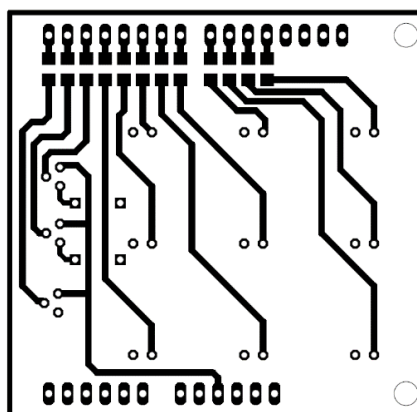


B.2 LEDCUBE DPS [top]



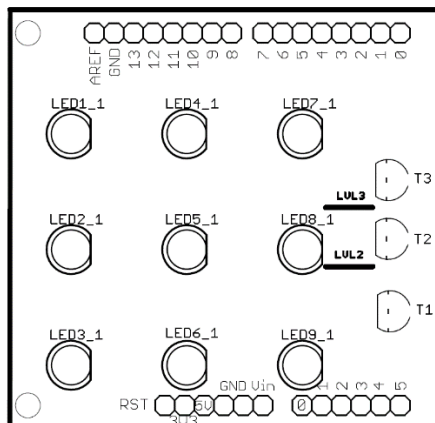
Rozměr desky 53,85 x 55,88 [mm], měřítko M1:1

B.3 LEDCUBE DPS [bottom]

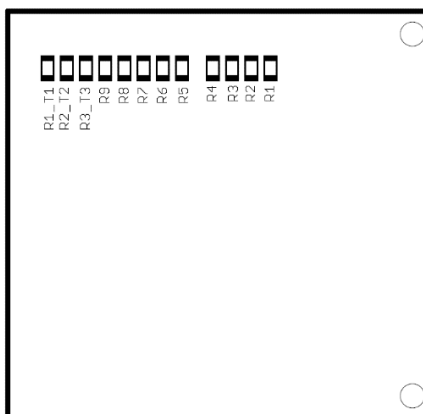


Rozměr desky 53,85 x 55,88 [mm], měřítko M1:1

B.4 LEDCUBE Osazovací list [top]



B.5 LEDCUBE Osazovací list [bottom]



B.6 Seznam součástek LEDCUBE SHIELD

Počet	Hodnota	Součástka	Pouzdro	Označení	Popis
2	-	-	-	LVL2, LVL3	Propojka
27	-	LED 5MM CYL.BLUE 550/90°	LED5MM	LEDX_X	ID=20mA, UD=3,2V
3	430R	R-EU_R1206	R1206	RX_TX	Rezistor
9	5R	R-EU_R1206	R1206	RX	Rezistor
3	2N3904	2N3904	TO92	T1, T2, T3	NPN Tranzistor $U_{BE(sat)} = 0.7V$ $I_c = 0,2 A$ $h_{21} = 100$ až 400